

(19) **European Patent Office**

(11) **EP 0 642 846 B1**

(12) **EUROPEAN PATENT SPECIFICATION**

(45) Date of publication and notification  
of issue of the patent:  
**10.06.1998; Journal 1998/24**

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>: **B08B 7/00, B23K 26/00,  
B08B 15/04, G21F 9/00,  
F22B 37/00, B23K 26/02**

(21) Application No.: **94430006.0**

(22) Date of application: **12.08.1994**

---

(54) **Method and device for controlling laser decontamination of surfaces**

---

(84) Designated treaty states:  
**BE CH DE ES GB IT LI**

(74) Agent:  
**Somnier, Jean-Louis et al,  
c/o Cabinet Beau de Loménie,  
232, Avenue du Prado  
13295 Marseille Cedex 08 (FR)**

(30) Priority: **12.08.1993 FR 9310094**

(43) Date of publication of the application:  
**15.03.1995 Journal 1995/11**

(56) Documents cited:  
**EP-A-0 330 565 DE-A-3 824 047  
FR-A-2 366 070 US-A-4 789 770  
US-A-4 920 994 US-A-5 026 964  
US-A-5 204 517**

(73) Holder: **ONET Société Anonyme  
13008 Marseilles (France)**

(72) Inventors:  
**- Blin, Daniel  
F-13410 Lambesc (FR)  
- Peyrot, Isabelle  
F-13011 Marseilles (FR)  
- Marine, Wladimir  
F-13008 Marseilles (FR)  
- Sentis, Marc  
F-138008 Marseilles (FR)**

**- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN  
Vol. 7, No. 222 (E-201) (1367) 4 October  
1983 & JP-A-58 112 327 (FUJITSU KK)  
4 July 1983  
- DATABASE WPI Section Ch, Week  
8908, Derwent Publications Ltd., London,  
GB; Class A, Page 35, AN 89-060744 081  
& US-A-4 803 021 (AMOCO CORP.)  
7 February 1989  
- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN  
Vol. 8, No. 152 (M-309) 14 July 1984 &  
JP-A-59 047 086 (MITSUBISHI DENKI  
KK) 16 March 1984**

Please note that anyone may file an objection to the issued European Patent by contacting the European Patent Office within a period of nine months from the date of publication of the notification of issue of the European patent. This objection must be made in writing and justified. This objection is not considered to have been filed until the objection fee has been paid (Art. 99(1) of the Convention on European Patents).

## Description

The aim of the present invention is to provide a method and device for automatically controlling laser decontamination of surfaces.

The invention falls under the “cleaning” technical sector.

One of the main applications of the invention is for decontaminating surfaces in premises, equipment, pipework, cables, etc. which have been contaminated by radioactive elements or chemical elements and which thus do not allow staff to remain in the vicinity of these surfaces for very long. However, other applications may be envisaged in the context of the method and device described in the present invention for all instances in which a surface needs to be cleaned without modifying the structure of the supporting material, avoiding redeposition of particles removed from this surface and limiting the time for which operators are present, be this for reasons of safety or profitability, and whilst ensuring total coverage of the surface to be treated. The following applications are particularly relevant: the food processing industry, in order to remove mould, for example, or any biological elements which may be adhering to a surface; the avionics industry, in order to remove a surface coat of paint without damaging the underlayer; renovation of works of art in order to remove oxide layers which are spoiling an old painting whilst preserving the qualities of the painting in question, etc.

However, the main applications of the present invention are to be found in so-called extreme environments where what is known as “ultra-cleanliness” is absolutely indispensable: this is the case in contaminated areas where it is essential to ensure a cleanliness level in accordance with specific standards on a systematic or scheduled basis and where the condition of the surface after treatment may play a decisive role in ensuring the success of subsequent activities: this may therefore apply, as indicated above, in fields such as the nuclear industry and research laboratories where products which have a particularly polluting effect are handled, be these chemical, medical or micro-electronic, etc.

Throughout the present description, contamination of a surface will thus describe any deposition, presence, encrustation, adherence or fixing of particles or organisms (for example, micro-organisms such as bacteria), either intentionally or unintentionally, on a

support, and including components (atomic, monoatomic, molecular, clusters, microparticles, etc.) which have a different nature to the components of the support itself. In accordance with the above definition, the invention in question is thus concerned with cleaning this contamination, or, in other words, decontamination of such surfaces by using methods and devices involving laser ablation.

Such uses are indeed known in this field and some specific devices and/or methods using this process have formed the subject of patent applications in accordance with the type of contamination, power, pulse, implementation, etc. of the laser and references for such applications may be cited; this does not include the use of lasers to destroy, crystallise, engrave, unmould, etc., which also involve surface treatments on a material but with an objective other than cleaning alone and for which many other patent applications have been able to be filed over the last ten years.

We can thus consider patent application FR.2467656 concerning a "method and device for removing metallic rust" using a laser ray with pulses of between 1 and 100 microseconds' duration with an energy of 1 to 5 watts and a pulse frequency of 1 to 1000 Hertz but without any particular claim regarding the type of laser used, and also patent application FR 2366070 concerning a dust suction device for lifting the marks formed by a laser beam on semiconductor strips.

Application EP.91947 describes a device "for removing materials adhering to surfaces by laser" specifically for the hulls of ships in order to remove barnacles which are dislodged from the hull after undergoing the shock of laser treatment, and patent US 5204517 describes a system for removing coatings, particularly of paint, without damaging the surface of the support material.

Application EP.350021 describes an apparatus for "removing surface contaminants by irradiation with the aid of a high energy source", with the specific aim of obtaining higher performance measurement apparatus including optics which are thus cleared of any contaminants thanks to an inert gas passing continuously over the surface to be treated and a laser emitting an "Excimer" type ultraviolet frequency.

Application EP.380387, which was published on 1 August 1990 by the Regional Technological Development Agency (ARDT) concerns a method for "cleaning a surface by laser" which is specially adapted for stone or other support material for the purpose of renovating monuments, objets d'art, antiques, etc. using a laser with a peak power ranging from several tenths of a megawatt per  $\text{cm}^2$  to several tens of megawatts per  $\text{cm}^2$  and where the wavelength of the emission source is between 500 and 1100 nanometers.

In nuclear applications, the following specific applications are considered:

- application FR.2525380, which was published on 21 October 1983 by the American company WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION concerning a "laser decontamination process" which specifically uses a pulsed laser beam generator, known as "neodymium-doped Yag", supplying an energy density which can vary between 4.6 and 23 Joules/ $\text{cm}^2$  and which is adapted to ensure thermal penetration corresponding to the thickness of the oxide layer which needs to be removed: the laser used is adapted to supply an energy density of 8.5 Joules/ $\text{cm}^2$ , emitting pulses of approx. 0.3 Joules each, with a duration of 30 to 40 nanoseconds and a wavelength of 1.06 micron; the device and the method described in this patent application are used to decontaminate the internal walls of a vessel such as a steam generator in a nuclear power station, comprising a manhole and from which a suction current is created from all the air in the vessel in order to collect contaminants in filters located above this suction air current; however, this does not prevent some radioactive particles from being redeposited at other places within the decontaminated vessel after the cleaning laser has passed over, thus having the opposite effect to the desired aim;
- applications EP.475806, 507641 and 520847, which were published on 18 March 1992, 7 October 1992 and 30 December 1992 respectively, filed by the same company, FRAMATOME, concerning apparatus and laser operation equipment in contaminated areas of nuclear installations, using Yag type pulse laser generators with the aim of obtaining a peak power of around 100 megawatts at the end of an optical fibre; the first application is specifically concerned with an amplifier for this laser beam at the end of the optical fibre at the point where treatment is required, the second also incorporates systems of mirrors for redirecting this beam over the area to be treated, particularly in pipework, and the third uses at least two associated optical

fibres for transporting two beams to the operating position where these two lasers are combined in order to amplify the power level; in the last two applications cited, a containment vessel is also described which surrounds the end of the laser beam and the area to be treated and in which the vessel is scavenged by a gas which allows the contaminated particles picked up by the laser to be collected: however, the said vessel is relatively large and there is no guarantee that the said particles will not be redeposited inside the said vessel next to the treated area.

All these known methods and types of equipment do indeed show that the principle of cleaning and/or surface decontamination by laser is known in the art and permits various applications including some which require additional equipment and choice of a particular type of laser, in terms of frequency, power, pulse, etc., but none of these devices and methods, even if they fulfil some requirements, has to date been truly satisfactory from the specific point of view, as described in the introduction to this patent application, of decontaminating a surface without modifying the structure of the material covered by this surface whilst simultaneously preventing redeposition of the particles removed such that the said surface and its support can be re-used.

Indeed, in all the documents mentioned above, the material often melts down to a fairly considerable thickness beneath the surface to be treated if certain types of laser are selected; on the one hand, this modifies the structure of the material and can lead to problematical residual stresses depending on subsequent use of the cleaned equipment and, on the other hand, it closes up any cracks, tears, pits or other defects which may exist in this material, thus trapping any contamination which has not been removed and/or modified. In other documents, as in some of the documents mentioned above, the particles picked up by laser may be redeposited further away and/or may pollute the surrounding atmosphere, which may have a harmful effect on the environment in some instances, as in the case of nuclear or biological contamination.

Furthermore, in all the known equipment, it is necessary to check whether the desired level of decontamination has been achieved after each session and, if this is not the case, the process needs to be repeated in those areas which were not treated properly in the first place, thus wasting time and giving rise to additional costs with the risk of recontamination.

The problem at hand is therefore to be able to decontaminate a surface without modifying the structure of the material, whilst preventing redeposition of the particles removed and monitoring the level of decontamination achieved in real time throughout the treatment process with a view to adapting the treatment process immediately in order to obtain the desired cleaning result; the intended objective is thus, on the one hand, to ensure that the support material retains a surface condition which is compatible with the use to which it is to be put after treatment and, on the other hand, to remove debris or particles which are produced during interaction between the laser and the material such that neither the treated surface, nor the environment is recontaminated with these particles and, finally, to ensure perfect control of the treatment result obtained in situ so as to determine the surface condition of the material with some accuracy in order to guarantee that the desired level of decontamination is achieved in one cleaning and/or treatment session.

One solution to the problem at hand is provided by a method for decontaminating the surface of a material, from which all particles or organisms need to be removed, comprising components of specific contamination agents and any derivative of these and capable of being fixed or deposited on the said surface, using at least one pulsed laser beam in the ultraviolet wavelength range which is projected on to the said surface, and a gas suction device which is positioned close to the zone treated by the end of the said laser beam, such that:

- the said beam is displaced relative to the said surface along a determined path in order to treat all of the said surface;
- the energy density of the said beam is adjusted between 0.25 and 8 joules/cm<sup>2</sup> as a function of the characteristics of the said material to be treated and the pulse frequency of the beam is adjusted between 0.5 and 500 Hz as a function of the displacement speed of the said beam over the said surface, whereby, as it moves, the beam ejects particles removed from the treated surface in the known manner, thus forming a plume of monatomic particles, molecules, clusters or microparticles above the said surface;
- the wavelength of the said laser beam is selected from within the range of 190 to 360 nanometers, with a pulse duration within the range of 10 to 250 nanoseconds, depending on the nature and thickness of the material from which the said particles are to be removed and the thickness of the said surface;

85 for 20  
= 4860  
e 20000

- the said ambient gas is sucked up all around the plume by means of a suction orifice surrounding the said laser beam symmetrically around its XX' axis and located fairly close to the surface;
- an optical system is provided for the purpose of measuring the intensity of specific emission frequencies for the said specific contamination components of the said particles to be removed, whereby the said optical system comprises means of picking up the said emissions from the said contamination components in the said plume adjacent to the said suction orifice and such that:
- at least two emission frequencies are measured, one of which is the frequency of the decontamination components and the other or others are those of at least one derivative of the said contamination components resulting from the reaction of the laser beam with the surface of the material or pre-existing on this surface or in the ambient air.

In the latter operation it is preferable to measure the emission frequency intensity obtained by calculating the sum of at least two emission frequency intensity values integrated with respect to time, whereby at least one is that of the decontamination components and the other or others are those of at least one derivative of the said contamination components resulting from the reaction of the laser beam with the surface of the material or pre-existing on this surface or in the ambient air, or formed in the plume with any gas which may be present.

In a preferential embodiment of the invention, there is at least one orifice for injecting a reagent gas, this being directed towards the point of impact of the laser beam on the treated area; the said reagent gas is mixed with the said particles in the plume by the said suction orifice and at least one emission frequency is detected for the particles and/or micro-organisms resulting from reactions with the gas.

In an embodiment of the said process described above, at least two laser pulse shots are applied to each of the said treated zones and the sum of emission frequency intensities for the said specific contamination components in the removed particles which are contained (or formed) within the plume for the second shot is monitored, and if the value obtained for this intensity is higher than a given threshold, shots are continued over the same area without displacing the laser until the value achieved does not exceed this threshold; in this way, the relative displacement speed of the laser beam and its repetition rate are controlled by

measuring the specific emission frequency intensity of the said specific components which may be contained within the removed particles with respect to this given threshold.

At least two of the said emission frequencies are detected within the atomic and molecular species arising from the said surface, these being ablated or formed in the plume with the reagent gas. In measuring the intensity, the aim is to obtain the sum of at least two of the said intensity values integrated with respect to time.

The aim of the invention is also achieved by a device for decontaminating the surface of a material on which there are fixed or deposited particles or organisms, including specific contamination components which are to be subjected to the said decontamination process, comprising at least one pulsed laser beam in the ultraviolet wavelength range which is projected on to the said surface by any appropriate means, and a gas suction device which is positioned close to the zone treated by the said laser beam, whereby this decontamination device comprises a suction orifice which is directed towards the said laser beam and a system allowing the entire decontamination device to be displaced along a determined path relative to the said surface to be cleaned to allow the said laser beam to treat the entire surface, whereby the laser beam ejects particles removed from the zone to be treated as it moves along, in a known manner, thereby forming a plume above the said zone. The device described in the terms of the invention is such that the said laser beam has a wavelength in a range from 190 to 360 nanometers, a pulse duration of between 10 and 250 nanoseconds depending on the type of laser source selected, and the energy density of the laser beam is defined as being between 0.25 and 8 Joules/cm<sup>2</sup> depending on the nature and characteristics of the material and the thickness of the contaminated layer and the support material containing the said particles which are to be removed, whereby the said suction orifice surrounding the said laser beam symmetrically around its XX' axis and located fairly close to the surface surrounds at least the upper end of the said plume, is situated at a distance  $l$  from the surface which is no greater than the height  $h$  of this plume and has a diameter  $d$  which is greater than that of the said plume and less than three times the said diameter.

The said device in the terms of the invention comprises an optical system for the purpose of measuring the sum of integrated intensities for at least two specific emission frequencies for the said specific contamination components which may be contained in the particles to be removed and at least one derivative of the said contamination components, whereby this



optical system comprises means of picking up the said emissions in the said plume in the vicinity of the said suction orifice.

As a result, we now have new methods and devices for surface decontamination by laser which resolve the problem, fulfil the outlined objectives, allow us to eliminate the disadvantages of systems known to date and do not merely allow us to achieve the aims defined above.

The type of laser selected and used in the present invention must thus, as a function of the characteristics described previously, be capable of removing contamination particles by ablation, by using a melting effect on the surface layer alone, whereby this layer must be removed from the surface of the material, without damaging the underlying support material and whilst ensuring that it is able to reach any contaminated particles which are to be removed from micro-cracks on the surface, depending on the case in question. The type of laser used thus does not cause any melting or heating of the material below that which is removed, so that it does not seal contamination within any micro-cracks which may be present, or even in an underlayer, as is the case with certain types of laser described in some documents of the prior art.

This is one particular reason why the lasers which are used emit in the ultraviolet range, which has the effect of breaking intermolecular associations directly: the physical process involved is, in fact, photoablation and surface melting, these being adapted to suit the desired result; this process makes use of the high absorption rate of this type of laser, e.g.  $10^5$  to  $10^6$   $\text{cm}^{-1}$  compared with  $10^2$  to  $10^4$   $\text{cm}^{-1}$  for other lasers for various oxides on a stainless steel surface: this thus leads to a low penetration rate in the material irradiated by the said laser, with a maximum of several hundred Angström, whereas other lasers achieve a penetration depth which is 10 to 1000 times greater, which not only seals any cracks, pits or fissures, trapping any contamination which may be present, but also modifies the structure of the material, leading to residual stresses which may lead to problems.

In the terms of the present invention, after the decontamination treatment it is, for example, possible to perform a surface smoothing treatment which does not modify the structure or lead to any residual stress in the support material since it is monitored and only affects the surface layer due to the type of laser selected; this thus improves the surface condition by a

beneficial smoothing process which, amongst other things, reduces the risk of other contamination particles adhering to the surface subsequently.

The invention can be applied to various types of material, irrespective of their surface condition, be they smooth or rough, covered with dirt, oxide layers, any type of coating such as paint, grease, varnish, etc. or whether they have been subjected to heat treatment, mechanical or chemical treatments or any form of ageing process; the parameters for use of the process and the device in the terms of the invention will thus be selected with regard to the number of pulses, frequency of use, energy density, scanning speed, beam size, focusing, etc. within the ranges of values specified above.

Furthermore, the particular device in the terms of the invention permits localised suction of the particles removed in the vicinity of the plume formed by ablation of these particles from the surface to be cleaned: this ensures that all of these particles are removed along with any debris, without the risk of the latter being redeposited on the cleaned surface; the specific fact that the suction orifice is located so close to the surface and its opening aperture compared with the dimensions of the plume go still further towards promoting this suction process, assisted in some cases by the particular shape of the vessel surrounding this suction orifice, thus creating an acceleration effect within the ambient gas around the said plume inside this suction orifice and thus preventing any redeposition of the said debris or particles.

The suction orifice thus prevents the contamination from being moved from the treated area to another area; in addition, as it has fairly small dimensions, this orifice only permits a relatively low throughput, which means that only a small amount of impurity-laden gas will need to be filtered afterwards, thus reducing the surface area and quantity of filters required for this purpose. This suction process also prevents any contact with the contaminated surface, reducing the amount of products which may become contaminated as a result of such contact, which can sometimes be a problem, especially in the case of nuclear contamination products.

The combination of the various parts of the above device, which is already innovative in itself, and an optical system for the purpose of measuring the specific emission frequency intensity of specific components and of any derivative contained in the removed particles at the time and place of removal, means that it is possible to control the characteristics of the

laser beam by monitoring the integrated emission intensity on the basis of a given threshold: these characteristics can thus be adjusted to adapt the laser beam to the desired cleaning purpose, allowing this to be achieved in just one operation and with a guaranteed result, without the need to repeat the cleaning and decontamination process in the same location.

This optical measurement can be performed on the emission lines for particles removed from the vicinity of the said plume formed by these particles and allows us to ascertain whether these said particles are laden with contamination components and derivatives of these which are to be removed and when such emission lines in these said particles are below a certain specific threshold it is deemed that the cleaned surface has been satisfactorily decontaminated to the required level; since this optical monitoring process is preferably performed in the plume of a second laser pulse shot conducted on each treated zone, the laser beam can then be displaced over the said surface, but, if the emission level for the lines from the said particles is too high, the beam is left in the same place and more pulses are shot over this same zone; the energy level of the said laser can also be increased in order to accelerate the treatment speed.

On the other hand, if the emission intensity of the said particles is below a threshold which is lower than the previous threshold, the displacement speed can of course be accelerated and/or the energy of the laser can be reduced.

One innovation associated with the present invention is that it also measures at least two emission frequencies, including one for the decontamination components and the other or others for at least one derivative of the said contamination components, since derivatives or transformed components of the base contamination agent may be formed when the laser beam reacts with the surface of the material or these may even be pre-existing on the surface of this material or even in the ambient air and this is even more applicable when the reagent gas is added, as described below, with a view not only to accelerating the suction effect but also to increasing the reaction speed of the decontamination metals in the gaseous phase: components which are not solely components of the product which is to be decontaminated, but also include derivatives which must also be able to be removed may thus be found in the plume or the said suction orifice; it is thus possible to measure at least two frequencies and to be able to verify that any derived form of the contamination component and the contamination component itself have been removed from the said surface and to ensure that

decontamination has achieved its aim; in systems where only one frequency or one range of frequencies is measured, you cannot be certain that derivatives of the contamination component might not continue to exist on the surface or in the surrounding ambient air at the end of the reaction, which would make it impossible to guarantee the result of the present invention.

All of the above points mean that it is also possible to integrate an automatic control system for the decontamination device by programming the control/command unit and this can then be used at the end of a remote manipulator arm, for example, thus avoiding any need for staff intervention in the cleaning area.

This is very important, especially when operating nuclear power stations or similar plants, because some types of equipment are exposed to radiation which leads to activation of their components and are either normally or accidentally subject to contamination by radioactive particles: some surface conditions fix this contamination more readily than others, e.g. cracks, and dose rates resulting from such interactions can be very high. Staff members do, however, need to access this equipment in order to perform a variety of operations, but these operations must be of limited duration due to the observed dose rates and standards limiting integrated doses and thus the direct exposure time; even if robotic systems are used, these may have to be moved from one cell to another, so the contamination rate for components of nuclear cells therefore needs to be reduced across the board.

The most obvious solution is, of course, to reduce the radioactive field associated with the nuclear components on which work has to be performed: to achieve this, the radioactive layer deposited on the surface of the components in question needs to be removed and this must be achieved with absolute efficiency and the highest level of automation, as is possible thanks to the present invention as defined above and below, whereas this has not been the case to date.

Other advantages of the present invention can be cited, such as the fact that no residual or secondary industrial waste, such as cleaning fluids, contact materials, etc, are formed, apart from filters which are the only consumable items and which are of a reduced size and quantity, this being very important from the point of view of protecting the environment by reducing the total volume of waste.

The advantages cited above are thus sufficient to demonstrate the novelty and benefits of the invention; the description and figures given below constitute an example of an embodiment of the invention but are by no means restrictive: other embodiments of the invention are possible within the range and scope of this invention, with particular respect to changing the shape of the suction vessel, the various devices for applying the laser beam and the optical monitoring devices used.

Figure 1 is a view of a lateral cross-section through part of the device in the terms of the invention.

Figure 2 is a view from above of the surface to be cleaned during operation.

Figure 3 is a view of a lateral cross-section through the entire device in the terms of the invention.

The device must make it possible to remove all contamination from a surface (3) of a material (2); this contamination is determined as explained in the introduction as being any particle which is deposited or fixed on the said support (2), thus constituting a surface thickness (4) and comprising components which are different in nature to the components of this support, whereby the particles may have been deposited or fixed intentionally or unintentionally.

The device in the terms of the invention comprises at least one known pulsed laser beam (1) in the ultraviolet wavelength, of the type known as "Excimer" (excited dimers) or "Exciplex" (excited complex), whereby the active media for these types of beam comprise a mixture of ionised rare gases. The following are examples of those which are most well known and which can be used in the present invention:

Mixture:	Wavelength:
ArF	193 nanometers
KrF	248 nanometers
XeCl	308 nanometers
XeF	351 nanometers

Other lasers can also be suitable for use in the present invention within a wavelength range of 190 to 360 nanometers.

Under the effect of a high voltage discharge and a very short time lapse, plasma is created in these laser sources in which the gas atoms become highly ionised and react with each other: when the molecules return to their lowest excitation level, the laser effect is immediate; these sources are thus super-radiating and do not require pre-heating; the effect of such lasers, be they pulsed or by pulses, is to cause ablation of the surface layer (4) of the material without penetrating the underlying support (2), whereby the thickness of the layer (4) affected by the melting/ablation effect caused by the laser only represents a few Angström; the pulse duration, energy density of the beam and the beam's pulse frequency are determined by the range of values described above as a function of the nature of the material, the type of decontamination required and/or treatment desired and the speed of the said treatment process.

In combination with this laser beam (1), the device in the terms of the invention comprises a gas suction device (10) in the vicinity of the zone (11) treated by the said laser and located close to the surface (3) from which the particles comprising this surface are to be removed: the latter form a plume (7) of ejected particles above this zone (11). Suction of the ambient gas takes place around this plume (7) by means of a suction orifice (9) surrounding the said laser beam (1) symmetrically around its XX' axis. In order to improve the suction effect, the opening of the said suction orifice (9) surrounds at least the upper end of the plume (7) and is located at a distance  $l$  from the surface (3), no greater than the height of this plume (7); in addition, the opening diameter  $d$  of this orifice is greater than the diameter of the said plume (7), whilst being less than three times the diameter of the said plume (7) and with a preferred minimum dimension of at least  $D + l$ , where  $D$  is the diameter of the point of impact (11) of the laser (1) with the treated zone: this makes it possible to obtain the lowest possible optimum throughput whilst ensuring an adequate gas throughput acceleration speed in the orifice such as to be certain that all the particles (8) removed from the surface (3) are sucked into the vessel (10) of the suction device (10).

In order to improve this suction acceleration effect still further around the point of impact (11) and in the suction orifice (9), the external shape of the suction device vessel (10) around this suction orifice and facing the surface (3) should preferably be a paraboloid of revolution

around the XX' axis of the laser (1): this has the effect of accelerating the ambient gas between the external surface of the vessel and the support to be treated (2) and this takes place symmetrically around the point of impact (11) and the plume (7). Furthermore, the inside of the vessel (10) should preferably have no angles which might trap the contaminated particles which may accumulate therein: thus, all the internal shapes of the vessel may also be paraboloids of revolution around the axis of the laser and the suction orifice (9), these being connected tangentially to cylinders of revolution.

Due to the fact that the surface layer (3) of thickness (4) which is to be removed without transforming the surface of the underlying support material (2) is treated by ablation, if there are any cracks (6) in the said support material, these will remain perfectly open and the surface (5) thus treated will not experience any residual structural stress.

As shown in Figure 2, the said beam (1) is displaced with the suction device assembly (10) such as by means of a manipulator arm support, for example: the said laser can thus be made to follow a specific path in order to treat the entire surface (3) of the support (2) which is to be cleaned by scanning the surface via the point of impact (11) of the laser by following parallel paths, for example; by overlapping 30 to 50% of the previous passage with the next passage, for example, it is possible to guarantee that the surface to be treated (5) has been cleaned perfectly within the limits of the desired decontamination threshold. In accordance with other applications, the surface to be treated can alternatively be displaced with respect to the decontamination device, which remains fixed.

In addition, at least one second passage can be performed by relative displacement of this same beam (1) over the said surface (3) before or after cleaning, with different parameters and settings for the said laser beam (1) such that this surface undergoes at least one second treatment which is different to the cleaning process and which uses the same operating phases as for the cleaning process: for example, after decontamination, a second treatment may then be performed on this support material (2) with a view to smoothing the surface (5) of the support material and permitting improved resistance to corrosion on the one hand and to recontamination on the other hand, thanks to the smoothing effect caused by laser ablation with the aid of these ultraviolet lasers which concentrate energy in a small volume due to their low penetration levels.

Figure 3 shows a device in the terms of the invention comprising a suction vessel (10) connected to any external suction device (12) and specifically comprising a filtration system which is specially adapted to the removed and contaminated particles, such as very high efficiency filters or so-called "absolute" filters which can, for example, guarantee an efficiency level of up to 99.999% DOP for 0.3 micron particles and 99.98% uranine for 0.12 micron particles.

The laser beam (1) can be projected directly from a laser source which is contained within the device, but can also be applied from an external laser source (19) which is positioned away from the device, e.g. outside the contaminated area, by means of a fibre optic system (14) and an optical device (13) for shaping the laser beam in order to ensure that it is projected on the zone to be treated (11) in the desired manner. This optical device (13) may be composed of a system of lenses or plane and spherical mirrors.

The surface of the point of impact on this zone (11) may have a diameter of the order of several millimetres and preferably of 1 cm with only one source, but it is possible to treat larger surfaces with several sources, for example: indeed, by selecting a larger surface, it is possible to speed up the treatment process and achieve a better shaped plume (7), which is then more noticeably vertical than if the surface of the point of impact (11) is small, as the suction system through the orifice (9) is not particularly efficient if the surface is too small.

In accordance with Figure 3, an air inlet (15) is also provided around the optical device (13) for shaping the beam such as to prevent contaminated particles from rising up again and being deposited inside the support and receptacle of this optical device.

A second optical system (18), which may also be located outside the area where the said cleaning process is to be performed, makes it possible to measure the intensity of specific emission frequencies for the specific components contained in the removed particles, as defined previously: this optical system comprises means (21), such as micrometer objectives or microlenses linked to an optical fibre (21), which may be positioned inside or outside beneath the vessel (10) of the suction head or even in the thickness of the wall of the latter so as to project into the collar of the suction orifice (9); this optical system makes it possible to pick up the said emissions in the said plume (7) in the vicinity of and/or close to the said suction orifice (9). The emission capture zone is located at a distance of some 2 to 10



millimetres away from the surface to be treated such that the emission lines for the contamination components and their derivatives can be clearly detected. The micrometer objective of the system (21) is located sufficiently far away from the plume (7) and is protected from deposition of particles from the plume by the same suction gas flows. This optical system (8) can be of any known type, such as, for example, an optical spectrometer, an optical spectral filter, an interference filter, assembled and linked to a photodetector, such as, for example, a photoresistor, photodiode, photoelectric multiplier, CCD camera, electronic detection and analysis systems.

In order to improve the efficiency of the said suction device still further, the device in the terms of the invention may also comprise at least one orifice (20) for injecting a reagent gas (17) such as oxygen, for example, this being located on the outer edge of the suction orifice (9) and directed towards the point of impact of the laser beam (1) on the treated zone (11); on the one hand, this additional gas flow makes it possible to accelerate the suction effect, but it also increases the speed at which the metals in the contamination components react with this gas in the gaseous phase thanks to the presence of the reagent gas, which has the effect of increasing the size of the molecules which are thus more likely to be covered by the suction effect; in the event of any impact between large and small molecules, small molecules risk being re-ejected towards the outside of the suction device and redeposited on the surface, whereas if they are all of adequate dimensions, thanks to this reaction effect in the gaseous phase, they are more likely to be carried in the same direction inside the suction orifice (9). Furthermore, increasing the size of the molecules of the components and derivatives of these makes it possible to improve the efficiency of the filtration system for these components: this makes it even more necessary to measure at least two emission frequencies in the plume and the suction orifice, as mentioned above, i.e. the emission frequency of the contamination components which need to be removed, of course, but also the emission frequencies for at least one of the derivatives of the said components, such as those formed by the said reagent gases.

In order to interpret measurements of the said intensity values, the sum of at least these two measurements can be obtained by integrating them with respect to time with a view to defining the threshold below which decontamination can be regarded as having been achieved.

Finally, in some types of devices, an outer containment skirt can be added some distance away from the axis of the laser beam (1), this being kept away from the suction orifice (9) to prevent any particles which may not have been sucked up from escaping into the atmosphere and, more specifically, from being able to penetrate awkward areas such as angles, or to provide the possibility of monitoring the distance between the cleaning device as a whole and the surface (3) of the material (2) to be cleaned by incorporating sensors in this skirt, which may preferably be composed of rows of hairs.



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) Numéro de publication : **0 642 846 A1**

(12)

## DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(21) Numéro de dépôt : **94430006.0**

(22) Date de dépôt : **12.08.94**

(51) Int. Cl.<sup>6</sup> : **B08B 7/00, B23K 26/00,  
B08B 15/04, G21F 9/00,  
F22B 37/00, B23K 26/02**

(30) Priorité : **12.08.93 FR 9310094**

(43) Date de publication de la demande :  
**15.03.95 Bulletin 95/11**

(84) Etats contractants désignés :  
**BE CH DE ES GB IT LI**

(71) Demandeur : **ONET Société Anonyme**  
**Traverse de Pomègues, 20**  
**F-13008 Marseille (FR)**

(72) Inventeur : **Blin, Daniel**  
**Campagne Montplaisir**  
**F-13410 Lambesc (FR)**

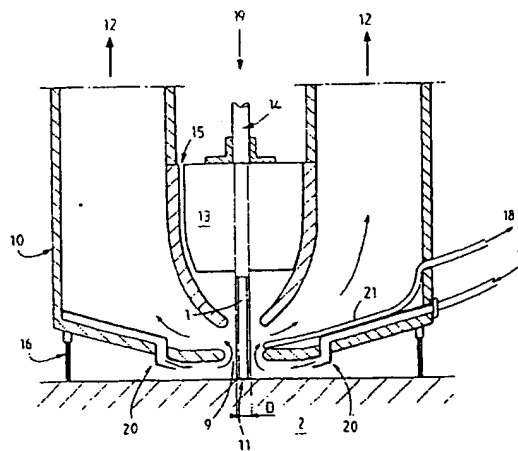
Inventeur : **Peyrot, Isabelle**  
**21, Rue Arnould,**  
**Euures**  
**F-13011 Marseille (FR)**  
Inventeur : **Marine, Wladimir**  
**23, Impasse des Colonies**  
**F-13008 Marseille (FR)**  
Inventeur : **Sentis, Marc**  
**Tour 6,**  
**Parc du Roy d'Espagne**  
**F-13008 Marseille (FR)**

(74) Mandataire : **Somnier, Jean-Louis et al**  
**c/o Cabinet Beau de Loménie,**  
**232, Avenue du Prado**  
**F-13295 Marseille Cédex 08 (FR)**

(54) **Procédé et dispositif de décontamination autocontrôlé de surfaces par laser.**

(57) Dispositif de décontamination de surface (3) d'un matériau (2), sur lequel sont fixées ou déposées toutes particules comportant des composants de contaminants déterminés et devant faire l'objet dudit nettoyage : le dispositif comprend au moins un faisceau laser (1) pulsé projeté par tout moyen (13,14) sur ladite surface (3), et choisi dans une gamme de longueur d'onde de l'ultraviolet comprise entre 190 et 360 nanomètres ; lequel dispositif de nettoyage comprend une bouche d'aspiration (9) entourant ledit faisceau laser (1) suivant son axe XX' et tout système permettant le déplacement de l'ensemble relativement par rapport à ladite surface (3) à nettoyer suivant un tracé déterminé dudit faisceau laser (2) pour traiter toute celle-ci, en éjectant au fur et à mesure, lesdites particules arrachées par effet d'ablation à cette surface en formant un panache (7) au-dessus de celle-ci, dans lequel on capte l'émission optique et on mesure l'intensité de fréquences d'émission optiques desdits composants de contaminants déterminés.

L'une des applications principales est la décontamination de surfaces de locaux, d'équipements, de tuyauteries, etc... contaminées par des radio-éléments ou des éléments chimiques.



**FIG. 3**

EP 0 642 846 A1

La présente invention a pour objet un procédé et dispositif de décontamination autocontrôlé de surfaces par laser.

Le secteur technique de l'invention est le domaine du nettoyage.

Une des applications principales de l'invention est la décontamination de surfaces de locaux, d'équipements, de tuyauteries, de câbles, etc... contaminées par des radio-éléments ou des éléments chimiques et ne permettant pas en particulier à du personnel de séjourner trop longtemps près de ces surfaces. Cependant, d'autres applications sont envisageables dans le cadre du procédé et dispositif de la présente invention chaque fois que l'on veut nettoyer une surface sans modifier la structure du matériau qui la supporte, en évitant la redéposition des particules enlevées à cette surface et en limitant le temps de présence d'opérateurs, pour des raisons de sécurité ou de rentabilité et tout en assurant une couverture totale de la surface à traiter. On peut citer en particulier des applications telles que : l'agro-alimentaire, pour éliminer des moisissures par exemple ou toute présence d'éléments biologiques adhérant à une surface ; l'avionique, quand on veut enlever une couche superficielle de peinture sans abîmer la sous-couche ; la rénovation d'oeuvre d'art pour arracher les couches d'oxydes altérant une peinture ancienne en conservant les qualités de celle-ci...

Les principales applications de la présente invention se situent cependant dans les milieux dits extrêmes où il est indispensable d'acquiescer ce que l'on appelle l'ultra-propreté : ceci est le cas des lieux contaminés pour lesquels il est essentiel d'obtenir de façon systématique ou ponctuelle une propreté définie par des normes spécifiques et pour lesquels l'état de la surface après traitement peut être déterminant pour le bon déroulement des activités suivantes ; cela peut donc concerner, comme indiqué ci-dessus, des domaines tels que le nucléaire et les laboratoires de recherche où sont manipulés certains produits particulièrement polluants, qu'ils soient chimiques, médicaux ou micro-électroniques, etc...

Dans toute la présente description, on appellera ainsi contamination d'une surface tout dépôt, présence, incrustation, adhérence ou fixation de particules ou organismes (par exemple des micro-organismes tels que des bactéries), volontairement ou involontairement sur un support, et comprenant des composants (atomiques, mono-atomiques, moléculaires, clasters, microparticules, etc...) d'une nature différente de celle de celui-ci. L'invention considérée concerne ainsi, suivant la définition ci-dessus, le nettoyage de cette contamination, soit la décontamination de telles surfaces en utilisant des procédés et dispositifs d'ablation par laser.

On connaît en effet de telles utilisations dans ce domaine, dont certains dispositifs et/ou procédés particuliers, suivant le type de salissure, de puissance,

d'impulsion, de mise en oeuvre, etc... du laser, ont fait l'objet de dépôts de demandes de brevet, dont on peut citer quelques références ; sans compter les utilisations du laser pour détruire, cristalliser, graver, dé-mouler... qui concernent également des traitements de surfaces sur un matériau mais dans un objectif différent du nettoyage seul de celles-ci et pour lesquels des dizaines d'autres demandes de brevets ont pu être déposées depuis moins de dix ans.

On relève ainsi la demande de brevet FR.2467656 publiée le 30 avril 1981 de M. Robert LANGEN concernant un "procédé et dispositif d'élimination de la rouille métallique" utilisant un rayon laser dont la radiation est effectuée par impulsions de durée comprise entre 1 et 100 microsecondes avec une énergie comprise entre 1 et 5 watts et une fréquence d'impulsion entre 1 et 1000 hertz mais sans revendication particulière sur le type de laser retenu.

La demande EP.91947 publiée le 26 octobre 1983 de la société américaine FIRST OF CHELSEA CORPORATION décrit un dispositif "d'élimination au laser de matériaux adhérents à des surfaces" spécialement pour les coques de navires dont on veut éliminer les "bernades" qui, subissant ainsi un choc, sont délogés de la coque.

La demande EP.350021 publiée le 10 janvier 1990 de la société CAULDRON Ltd et M. ENGEL-SBERG décrit un appareil pour "l'enlèvement de contaminants de surface par irradiation à l'aide d'une source à haute énergie" en particulier pour obtenir des dispositifs de mesure plus performants comprenant des optiques ainsi débarrassés de tout contaminant grâce d'une part, à un gaz inerte passant continuellement sur la surface à traiter et d'autre part, un laser émettant dans une fréquence ultraviolette de type "Excimer".

La demande EP. 380387 publiée le 1er août 1990 de l'Agence Régionale de Développement Technologique ARDT concerne un procédé "de nettoyage d'une surface par un laser" spécialement adapté pour la pierre ou autre matériau support dans un objectif de rajeunissement des monuments, des objets d'art, antiquités, etc... utilisant un laser dont la puissance crête est comprise entre quelques dixièmes de mégawatts par cm<sup>2</sup> et quelques dizaines de mégawatts par cm<sup>2</sup> et dont la longueur d'ondes de la source d'émission est comprise entre 500 et 1100 nanomètres.

Dans des applications nucléaires, on relève plus spécialement :

- la demande FR.2525380 publiée le 21 octobre 1983, de la société américaine WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION sur "un procédé de décontamination par laser" utilisant particulièrement un générateur de faisceau laser pulsé, dit Yag dopé au Néodyme, fournissant une densité d'énergie qui peut varier de 4,6 à 23 Joules/cm<sup>2</sup> et qui est adapté pour effectuer une pénétration thermique correspondant à l'épaisseur de la couche

d'oxyde que l'on veut enlever : le laser utilisé est adapté pour fournir une densité d'énergie de 8,5 Joules/cm<sup>2</sup>, émettant des impulsions d'environ 0,3 Joules chacune, de durée 30 à 40 nanosecondes et de longueur d'onde 1,06 micron ; le dispositif et le procédé décrits dans cette demande de brevet sont utilisés pour décontaminer les parois intérieures d'un volume tel qu'un générateur de vapeur d'eau de centrale nucléaire, comportant un trou d'homme et à partir duquel on crée un courant d'aspiration de l'ensemble de l'air situé dans le volume pour recueillir les contaminants dans des filtres situés sur ce courant d'air d'aspiration; ceci n'empêche pas cependant le redépôt de certaines particules radioactives en d'autres points du volume décontaminé, après le passage du laser de nettoyage, ce qui va à l'encontre du but recherché;

- les demandes EP.475806, 507641 et 520847 publiées respectivement les 18 mars 1992, 7 octobre 1992 et 30 décembre 1992, déposées par la même société FRAMATOME, concernant des appareils et des équipements de travail au laser dans des zones contaminées d'installation nucléaire, utilisant des générateurs laser, de type Yag, à impulsion et dont on veut obtenir une puissance de crête de l'ordre de 100 mégawatts à l'extrémité d'une fibre optique ; la première demande porte plus particulièrement sur un amplificateur de ce faisceau laser à l'extrémité de la fibre optique à l'endroit où l'on veut effectuer le traitement, la deuxième rajoute par rapport au premier des systèmes de miroirs de renvoi du faisceau sur la zone à traiter, en particulier dans les tuyauteries, et la troisième utilise au moins deux fibres optiques associées pour transporter deux faisceaux jusqu'à l'emplacement de la zone de travail où on combine ces deux lasers pour en amplifier la puissance ; dans ces deux dernières demandes citées, il est de plus décrit une enceinte de confinement, entourant l'extrémité du faisceau laser et la zone à traiter, et dans laquelle on balaye le volume par un gaz permettant de récupérer les particules contaminées et arrachées par le laser : cependant, ledit volume est relativement important, ne garantissant pas que lesdites particules ne se redéposent pas à l'intérieur de ladite enceinte à côté de la zone traitée.

Tous ces équipements et procédés connus montrent bien que le principe du nettoyage et/ou de la décontamination de surface par un laser est connu et permet diverses applications dont certaines nécessitent des équipements complémentaires et un choix particulier du type de laser, en terme de fréquence, puissance, impulsion, etc... mais aucun de ces dispo-

sitifs et méthodes, même s'ils répondent à certains besoins, n'est vraiment satisfaisant à ce jour quand on veut en particulier comme indiqué en introduction, à la fois décontaminer une surface sans modifier la structure du matériau dont elle constitue l'enveloppe, et éviter le redépôt des particules enlevées afin de rendre ladite surface et son support réutilisables.

En effet, dans tous les documents cités ci-dessus, on a souvent, pour certains choix de laser, une fusion d'une épaisseur assez importante de matériau sous la surface à traiter : ceci, d'une part, en modifie la structure et peut laisser des contraintes résiduelles gênantes suivant l'utilisation ultérieure de l'équipement nettoyé, et d'autre part, referme les fissures, criques, piqûres ou autres pouvant exister dans ce matériau, piégeant ainsi la contamination qui n'a pas été enlevée et/ou modifiée. Dans d'autres documents comme dans certains cités ci-dessus, les particules arrachées grâce au laser peuvent se redéposer plus loin et/ou polluer l'atmosphère environnante, ce qui dans certains cas, tel que pour la contamination nucléaire ou biologique peut être dangereux pour l'environnement.

De plus, dans tous les équipements connus, il est nécessaire de contrôler après coup si le niveau de décontamination recherché a bien été obtenu, et si ce n'est pas le cas, il faut alors revenir sur les endroits mal traités initialement, occasionnant entre autres des pertes de temps et des coûts supplémentaires avec des risques de recontamination.

Aussi, le problème posé est de pouvoir décontaminer une surface, sans modifier la structure du matériau, en évitant le redépôt des particules enlevées et en contrôlant en temps réel le niveau de décontamination obtenu tout au long du traitement afin d'adapter celui-ci immédiatement pour obtenir le résultat de nettoyage souhaité; l'objectif recherché est donc d'une part, de conserver au support un état de surface compatible avec son utilisation postérieure au traitement, d'autre part, d'éliminer les débris ou particules produits lors de l'interaction laser/matière afin de ne recontaminer ni la surface traitée, ni l'environnement avec ces particules, et enfin de maîtriser parfaitement le résultat du traitement obtenu in situ et en temps réel, afin de déterminer avec justesse l'état de surface du matériau obtenu afin d'être sûr que le niveau de décontamination voulu est atteint en un seul passage de nettoyage et/ou de traitement.

Une solution au problème posé est un procédé de décontamination de surface d'un matériau, dont on veut enlever toutes particules ou organismes, comprenant des composants de contaminants déterminés et de tout dérivé de ceux-ci et pouvant être fixées ou déposées sur ladite surface, et utilisant au moins un faisceau laser pulsé dans la gamme de longueur d'ondes de l'ultraviolet et projeté sur ladite surface, et un dispositif d'aspiration de gaz disposé à proximité de la zone traitée par l'extrémité dudit fais-

ceau laser, tel que :

- on déplace ledit faisceau relativement par rapport à ladite surface, suivant un tracé déterminé pour traiter l'ensemble de celle-ci ;
- on règle la densité d'énergie dudit faisceau entre 0,25 et 8 joules/cm<sup>2</sup> en fonction des caractéristiques dudit matériau à traiter, et sa fréquence d'impulsion entre 0,5 et 500 hertz en fonction de la vitesse de déplacement dudit faisceau sur ladite surface, celui-ci éjectant, au fur et à mesure et d'une manière connue, des particules arrachées de la zone traitée en formant au-dessus de celle-ci un panache de particules monoatomiques, molécules, clusters, microparticules ;
- on choisit la longueur d'ondes dudit faisceau laser dans la gamme de 190 à 360 nanomètres, avec une durée d'impulsion comprise entre 10 et 250 nanosecondes, suivant la nature du matériau et l'épaisseur de celui-ci dont on veut éliminer lesdites particules ainsi que l'épaisseur de ladite surface ;
- on aspire le gaz ambiant par une bouche d'aspiration dirigée vers ledit faisceau laser et, suivant la présente invention ;
- on aspire ledit gaz ambiant tout autour du panache grâce à une bouche d'aspiration entourant ledit faisceau laser symétriquement suivant son axe XX' et disposée assez proche de la surface ;
- on dispose un système optique permettant de mesurer l'intensité de fréquences d'émission spécifique desdits composants de contaminants déterminés desdites particules à enlever, ledit système optique comportant tout moyen pour capter lesdites émissions desdits composants de contaminants dans ledit panache au voisinage de ladite bouche d'aspiration, et tel que :
- on mesure au moins deux fréquences d'émission dont l'une est celle des composants décontaminants et l'autre ou les autres, celles d'au moins un dérivé desdits contaminants issu de la réaction du faisceau laser sur la surface du matériau ou préexistant dans cette surface ou dans l'air ambiant.

De préférence, dans cette dernière opération, on mesure l'intensité de fréquences d'émissions obtenue en calculant la somme d'au moins deux intensités de fréquences d'émission intégrées par rapport au temps, dont au moins une est celle des composants décontaminants et l'autre ou les autres, celles d'au moins un dérivé desdits contaminants issu de la réaction du faisceau laser sur la surface du matériau ou préexistant dans cette surface ou dans l'air ambiant, ou formé dans le panache avec un quelconque gaz présent.

Dans un mode préférentiel de réalisation, on dis-

pose au moins un orifice d'injection d'un gaz réactif dirigé vers le point d'impact sur la zone traitée par le faisceau laser ; ledit gaz réactif est mélangé avec lesdites particules du panache par ladite bouche d'aspiration et on détecte au moins une fréquence d'émission des particules et/ou micro-organismes issus des réactions avec le gaz.

Dans un mode de réalisation dudit procédé ci-dessus, on effectue au moins deux tirs d'impulsion laser sur chaque dite zone traitée et on contrôle la somme des intensités de fréquences d'émission desdits composants de contaminants déterminés dans les particules enlevées et situées (ou formées) dans le panache du deuxième tir, et si la valeur obtenue de cette intensité est supérieure à un seuil donné, on continue les tirs sur la même zone sans déplacement du laser, et jusqu'à obtenir au plus ce seuil ; on règle ainsi la vitesse relative de déplacement du faisceau laser et son taux de répétition en fonction, par rapport à ce seuil donné, de ladite mesure de l'intensité de fréquences d'émission spécifique desdits composants déterminés pouvant être contenus dans les particules arrachées.

Lesdites fréquences d'émission détectées sont au nombre minimum de deux à partir d'espèces atomiques et moléculaires issues de ladite surface, ablatées ou formées dans le panache avec le gaz réactif. On entend par mesure de l'intensité la somme de deux au minimum desdites intensités intégrées par rapport au temps.

L'objectif de l'invention est également obtenu par un dispositif de décontamination de surface d'un matériau, sur lequel sont fixées ou déposées toutes particules ou organismes, comprenant des composants de contaminants déterminés et devant faire l'objet de ladite décontamination, comprenant au moins un faisceau laser pulsé dans la gamme de longueur d'ondes de l'ultraviolet et projeté par tout moyen sur ladite surface, et un dispositif d'aspiration de gaz disposé au voisinage de la zone traitée par ledit faisceau laser, lequel dispositif de décontamination comprend une bouche d'aspiration dirigée vers ledit faisceau laser et tout système permettant le déplacement de l'ensemble du dispositif de décontamination relativement par rapport à ladite surface à nettoyer suivant un tracé déterminé dudit faisceau laser pour traiter l'ensemble de celle-ci, lequel faisceau laser éjecte, au fur et à mesure et d'une manière connue, des particules arrachées à la zone à traiter en formant un panache au-dessus de celle-ci. Le dispositif suivant l'invention est tel que ledit faisceau laser est dans une gamme de longueur d'ondes comprise entre 190 et 360 nanomètres, et suivant le type de la source laser choisie, d'une durée d'impulsion entre 10 et 250 nanosecondes, la densité d'énergie du faisceau laser étant définie entre 0,25 et 8 Joules/cm<sup>2</sup> suivant la nature et les caractéristiques du matériau et l'épaisseur de la couche contaminée et celle du support et dans laquelle

se situent lesdites particules que l'on veut éliminer, ladite bouche d'aspiration entourant ledit faisceau laser symétriquement suivant son axe XX' et disposée assez proche de la surface, entoure au moins l'extrémité supérieure dudit panache, est située à une distance 1 de la surface au plus égale à la hauteur h de ce panache et a un diamètre d supérieur à celui dudit panache et inférieur à trois fois celui-ci.

Ledit dispositif selon l'invention comprend un système optique permettant de mesurer la somme des intensités intégrées d'au moins deux fréquences d'émission spécifique desdits contaminants déterminés pouvant être contenus dans les particules à arracher, et d'au moins un dérivé desdits contaminants, lequel système optique comporte tout moyen pour capter lesdites émissions dans ledit panache au voisinage de ladite bouche d'aspiration.

Le résultat est de nouveaux procédés et dispositifs de décontamination de surface par laser répondant au problème et aux objectifs fixés et permettant d'éliminer les inconvénients des systèmes connus à ce jour et qui ne permettent pas justement d'obtenir les objectifs définis ci-dessus.

En effet, le type de laser choisi et utilisé dans la présente invention, en fonction des caractéristiques indiquées précédemment, doit pouvoir enlever par ablation, avec un effet de fusion sur la seule couche superficielle qui doit être arrachée à la surface du matériau, les particules contaminantes sans détériorer le matériau support situé en dessous, et tout en atteignant les particules contaminées que l'on veut enlever dans les micro-fissurations au moins de surface, suivant les cas. Le type de laser retenu ne provoque pas ainsi d'échauffement ou de fusion de la matière en profondeur au-delà de celle qui est arrachée, de manière à ne pas enfermer définitivement la contamination dans les micro-fissures éventuelles, ou même dans une sous-couche, comme c'est le cas dans certains types de laser indiqués de certains documents de l'art antérieur.

C'est pourquoi en particulier les lasers retenus émettent dans le domaine de l'ultraviolet, ce qui a pour effet de briser directement les liaisons intermoléculaires : le processus physique mis en jeu est en effet la photoablation et la fusion de surface, maîtrisées selon le résultat attendu ; ce processus met à profit le taux d'absorption élevé de ce type de laser, tel que pour différents oxydes en surface d'acier inoxydable par exemple,  $10^5$  à  $10^6$  cm<sup>-1</sup> contre  $10^2$  à  $10^4$  cm<sup>-1</sup> pour les autres lasers : le taux de pénétration est ainsi faible dans le matériau irradié par ledit laser, avec un maximum de quelques centaines d'angström alors que pour les autres lasers, on obtient 10 à 1000 fois plus de profondeur de pénétration, ce qui d'une part, ferme alors les criques, piqûres ou fissurations éventuelles en piégeant la contamination qui s'y trouverait et d'autre part, modifie la structure du matériau, provoquant des contraintes résiduelles

et éventuellement gênantes.

Suivant la présente invention, il est possible, après le traitement de décontamination par exemple, d'effectuer un traitement de lissage de la surface mais qui, étant d'une part, contrôlé et d'autre part, ne concernant par le choix du laser que la couche superficielle, ne modifie pas la structure ni ne provoque de contraintes résiduelles dans le support : on améliore ainsi son état de surface par un lissage bénéfique qui, entre autres, réduit le risque d'accrochage d'autres particules contaminantes par la suite.

L'invention s'applique à divers types de matériaux quel que soit leur état de surface, qu'ils soient lisses ou présentant des aspérités, recouverts de saillies, de couches d'oxyde, de films quelconques, tels que peinture, graisse, vernis, etc..., ou ayant subi un traitement thermique, chimique, mécanique ou un vieillissement quelconque ; les paramètres d'utilisation du procédé et du dispositif suivant l'invention seront donc choisis en ce qui concerne le nombre d'impulsions, la fréquence des utilisations, la densité d'énergie, la vitesse de balayage, la taille du faisceau, la focalisation, etc... dans les plages de valeur indiquées précédemment.

De plus, le dispositif particulier selon l'invention permet l'aspiration localement des particules arrachées au niveau du panache formé par l'ablation de celles-ci de la surface à nettoyer : ceci assure une totale reprise de l'ensemble de ces particules et débris, sans qu'il y ait des risques de redépôt de ceux-ci sur la surface une fois nettoyée ; la distance particulière assez proche de la bouche d'aspiration par rapport à la surface et son ouverture par rapport aux dimensions du panache, permettent d'autant mieux une telle aspiration, aidées en cela par une forme particulière éventuelle de l'enceinte entourant cette bouche d'aspiration, créant un effet d'accélération du gaz ambiant autour dudit panache, dans cette bouche d'aspiration, empêchant ainsi tout redépôt desdits débris ou particules.

La bouche d'aspiration évite ainsi le déplacement de la contamination de l'endroit traité à un autre endroit ; par ailleurs, étant de dimensions assez réduites, cette bouche autorise un débit assez faible, ce qui permet de n'avoir à filtrer ensuite qu'une faible quantité de gaz chargé d'impuretés, réduisant alors la surface et la quantité des filtres nécessaires pour cela. Cette aspiration évite également tout contact avec la surface contaminée, réduisant la quantité de produits pouvant être contaminée par contact, ce qui est parfois gênant pour les produits de contamination nucléaire en particulier.

La combinaison des éléments du dispositif ci-dessus, déjà innovante en elle-même, avec un système optique permettant de mesurer l'intensité de fréquences d'émission spécifique de composants déterminés et de tout dérivé contenus dans les particules enlevées au moment et à l'endroit où celles-ci sont

arrachées, permet par contrôle, à partir d'un seuil donné, de l'intensité intégrée d'émission, de régler les caractéristiques du faisceau laser : elles peuvent en effet être réglables, pour adapter celui-ci au but du nettoyage recherché, permettant ainsi une seule opération et garantissant le résultat, sans nécessité de reprise de nettoyage décontaminant une deuxième fois aux mêmes endroits.

Cette mesure optique peut être réalisée sur les raies d'émission des particules arrachées au niveau dudit panache qu'elles forment et permet de savoir si ces dites particules sont chargées des composants contaminants et de ses dérivés que l'on veut éliminer et, quand de telles raies d'émission dans ces dites particules sont en-dessous d'un certain seuil déterminé, on considère que la surface nettoyée est bien décontaminée au niveau voulu ; ce contrôle optique étant réalisé de préférence dans le panache d'un deuxième tir d'impulsion du laser effectué sur chaque zone traitée, on peut alors déplacer le faisceau laser sur ladite surface et au contraire, si le niveau d'émission des raies des dites particules est trop élevé, on demeure au même endroit et on continue de tirer d'autres impulsions sur cette même zone ; on peut augmenter par ailleurs l'énergie dudit laser pour accélérer la vitesse de traitement.

Si l'intensité d'émission des dites particules est par contre en-dessous d'un seuil encore plus faible que le précédent, on peut bien sûr accélérer la vitesse de déplacement et/ou diminuer l'énergie du laser.

Une innovation de la présente invention est également de mesurer au moins deux fréquences d'émission dont l'une est celle des composants décontaminants et l'autre, ou les autres, celles d'au moins un dérivé desdits contaminants, car en effet, lors de l'action du faisceau laser sur la surface du matériau ou même préexistant à la surface de celui-ci ou même dans l'air ambiant, il peut y avoir des dérivés ou des composants transformés du contaminant de base et cela d'autant plus, du reste, quand on rajoute du gaz réactif, tel que décrit ci-après pour accélérer l'effet d'aspiration d'une part, mais également augmenter la vitesse de réaction en phase gazeuse des métaux décontaminants : on peut donc avoir dans le panache ou dans ladite bouche d'aspiration des composants qui ne sont pas uniquement ceux du produit que l'on veut décontaminer, mais des dérivés qu'il est nécessaire de pouvoir éliminer également ; la possibilité est de pouvoir mesurer ainsi au moins deux fréquences et de pouvoir vérifier que toute forme dérivée du contaminant et le contaminant lui-même ont été éliminés de ladite surface et assurer que la décontamination a atteint son objectif ; dans les systèmes où une seule fréquence ou une seule gamme de fréquences serait mesurée, on n'est pas sûr qu'à la fin de la réaction des dérivés du contaminant ne subsisteraient pas dans la surface ou dans l'air ambiant environnant, ce qui ne permettrait pas de garantir le résultat de la pré-

sente invention.

Tout ceci permet également de pouvoir intégrer, par la programmation de l'unité de contrôle et de conduite, un système automatique de pilotage du dispositif de décontamination qui peut être alors utilisé par exemple au bout d'un bras télé-manipulateur évitant ainsi toute intervention de personnel sur le lieu de nettoyage.

Ceci est très important, en particulier dans l'exploitation de centrales nucléaires ou d'usines similaires, car certains équipements sont exposés aux radiations entraînant une activation de leurs composants et subissent normalement ou accidentellement une contamination par des particules radioactives : certains états de surface fixent plus facilement que d'autres ces contaminations telles que des fissures par exemple et des débits de doses résultant de ces interactions peuvent être très élevés. Or, il est nécessaire que les personnes interviennent sur ces équipements pour effectuer diverses opérations mais celles-ci sont alors limitées dans le temps en fonction des débits de doses constatés et des normes limitant les doses intégrées, donc le temps direct d'exposition ; même dans le cas d'utilisation de systèmes robotisés, ceux-ci peuvent être amenés à se mouvoir d'une cellule vers une autre, il faut donc diminuer globalement le taux de contamination des composants des cellules nucléaires.

La solution la plus évidente est bien sûr de réduire le champ radioactif associé aux composants nucléaires sur lequel le travail doit s'effectuer : pour cela, il faut arracher la couche radioactive déposée sur la surface des composants concernés et cela avec une efficacité certaine et un automatisme le plus complet, ce qui est possible grâce à la présente invention telle que définie ci-dessus et ci-après, alors que cela n'est pas le cas à ce jour.

On pourrait citer d'autres avantages de la présente invention, tel que le fait qu'il n'y ait pas création de déchets industriels résiduels ou secondaires, comme des fluides de nettoyage, des matériaux de contact, etc..., en dehors des filtres qui sont alors les seuls consommables et encore en taille et en quantité réduites, ce qui est important pour la protection de l'environnement par réduction du volume total des déchets.

Ainsi, les avantages cités ci-dessus sont suffisants pour démontrer la nouveauté et l'intérêt de l'invention ; la description et les figures ci-après représentent un exemple de réalisation de l'invention mais n'ont aucun caractère limitatif : d'autres réalisations sont possibles dans le cadre de la portée et de l'étendue de cette invention, en particulier en changeant la forme de l'enceinte d'aspiration, les divers dispositifs d'amenée du faisceau laser, ainsi que les dispositifs de contrôle optique.

La figure 1 est une vue en coupe latérale d'une partie du dispositif suivant l'invention.



La figure 2 est une vue de dessus de la surface à nettoyer en cours d'opération.

La figure 3 est une vue en coupe latérale de l'ensemble du dispositif suivant l'invention.

Le dispositif doit permettre l'élimination de toute contamination d'une surface 3 d'un matériau 2 : cette contamination est déterminée tel qu'indiqué en introduction, comme étant le dépôt ou la fixation de toute particule sur ledit support 2 constituant alors une épaisseur 4 superficielle et comprenant des composants d'une nature différente de ceux de celui-ci, lequel dépôt ou laquelle fixation ayant pu être fait involontairement ou volontairement.

Le dispositif selon l'invention comprend au moins un faisceau laser 1 connu, pulsé dans la gamme des longueurs d'onde à ultraviolet, de type dit Excimer (Excited dimers) ou Exciplex (Excited Complex) dont les milieux actifs sont constitués d'un mélange de gaz rares ionisés. Les plus connus et utilisables dans la présente invention sont tels que :

Mélange :	Longueur d'onde :
ArF	193 nanomètres
KrF	248 nanomètres
XeCl	308 nanomètres
XeF	351 nanomètres

D'autres lasers peuvent également convenir dans le cadre de la présente invention dans une gamme de longueurs d'ondes de 190 à 360 nanomètres.

Sous l'action d'une décharge à haute tension en un laps de temps très court, un plasma est créé dans ces sources lasers, dans lequel les atomes des gaz sont fortement ionisés et réagissent entre eux : lorsque les molécules descendent à leur niveau d'excitation le plus faible, l'effet laser est immédiat ; ces sources sont donc super radiantes et ne nécessitent pas de préchauffage ; l'effet de tels lasers, pulsés ou impulsions, permet une ablation de la couche superficielle 4 du matériau sans pénétration dans le support 2 situé en dessous, l'épaisseur de la couche 4 concernée par la fusion-ablation créée par le laser, ne représentant que quelques centaines d'angström ; la durée d'impulsion, la densité d'énergie du faisceau et sa fréquence d'impulsions sont déterminées dans les plages de valeurs indiquées précédemment, en fonction de la nature du matériau, du type de décontamination voulu et/ou de traitement souhaité ainsi que de la vitesse dudit traitement.

En combinaison avec ce faisceau laser 1, le dispositif suivant l'invention comprend un dispositif d'aspiration 10 de gaz au voisinage de la zone 11 traitée par ledit laser, et disposé près de la surface superficielle 3 dont on doit arracher les particules qui la

composent : celles-ci forment au-dessus de cette zone 11, un panache 7 de particules éjectées, ou plume. L'aspiration du gaz ambiant est réalisée autour de ce panache 7 grâce à une bouche d'aspiration 9 entourant ledit faisceau laser 1 symétriquement suivant son axe XX'. Pour améliorer l'effet d'aspiration, l'ouverture de ladite bouche d'aspiration 9 entoure au moins l'extrémité supérieure du panache 7 et est située à une distance 1 de la surface 3, au plus égale à la hauteur de ce panache 7 ; de plus, son diamètre d'ouverture d est supérieur à celui d' dudit panache 7, tout en étant inférieur à 3 fois celui-ci, et de préférence de dimension minimale  $D + 1$ , D étant le diamètre du point d'impact 11 sur la zone traitée du laser 1 : ceci permet d'obtenir un optimum de débit le plus faible possible, tout en ayant une vitesse suffisante d'accélération du débit de gaz dans l'embouchure, afin d'être sûr que toutes les particules 8 arrachées à la surface 3 soient aspirées dans l'enceinte 10 du dispositif d'aspiration.

Pour améliorer encore cet effet d'accélération de l'aspiration autour du point d'impact 11 et dans l'orifice d'aspiration 9, la forme extérieure de l'enceinte du dispositif d'aspiration 10 autour de cet orifice de bouche d'aspiration et en regard de la surface 3, est de préférence parabolique de révolution autour de l'axe XX' du laser 1 : celui-ci crée un effet d'accélération du gaz ambiant entre la surface extérieure de l'enceinte et le support à traiter 2, et cela symétriquement tout autour du point d'impact 11 et du panache 7. Par ailleurs, à l'intérieur de l'enceinte 10, il doit de préférence n'exister aucun angle risquant de piéger des particules contaminées qui puissent s'y accumuler : ainsi toutes les formes intérieures de l'enceinte peuvent également être des paraboloïdes de révolution autour de l'axe du laser et de la bouche d'aspiration 9 se raccordant tangentiellement à des cylindres également de révolution.

Du fait du traitement par ablation de la couche superficielle 3 de l'épaisseur 4 que l'on veut enlever sans transformer la surface du support 2 situé en dessous, s'il existe des fissures 6 dans ledit support, celles-ci resteront parfaitement dégagées et la surface 5 ainsi traitée n'aura subi aucune contrainte résiduelle de structure.

Suivant la figure 2, on déplace ledit faisceau 1 avec l'ensemble du dispositif d'aspiration 10, tel que par un support de bras manipulateur par exemple : on peut ainsi faire effectuer audit laser un tracé déterminé pour traiter l'ensemble de la surface 3 du support 2 que l'on veut nettoyer, en balayant par le point d'impact 11 du laser, cette surface suivant des tracés parallèles par exemple ; un recouvrement de chaque passage de 30 à 50% par exemple sur le précédent, permet d'être sûr que la surface à traiter 5 soit parfaitement nettoyée dans les limites de seuil de décontamination voulue. Suivant d'autres applications, on peut inversement déplacer la surface à traiter parrap-

port au dispositif de décontamination qui serait fixe.

De plus, on peut également effectuer au moins un deuxième passage par déplacement relatif de ce même faisceau 1 sur ladite surface 3, avant ou après nettoyage, avec des paramètres et des réglages dudit faisceau laser 1 différents, afin de faire subir à cette surface au moins un deuxième traitement différent de celui du nettoyage et suivant les mêmes phases de procéder que pour celui-ci : par exemple, après une décontamination, un second traitement peut être alors effectué sur ce matériau support 2, afin de lisser sa surface 5 et de permettre une meilleure résistance à la corrosion d'une part, et à la recontamination d'autre part, grâce à l'effet de lissage induit par ablation laser à l'aide de ces lasers ultraviolets qui concentrent l'énergie en un faible volume du fait de leur faible pénétration..

Sur la figure 3, il est représenté un dispositif suivant l'invention comportant une enceinte d'aspiration 10 raccordée à tout dispositif d'aspiration externe 12, comportant en particulier une filtration adaptée aux particules arrachées et contaminées, telle que des filtres par exemple de très haute efficacité (T.H.E.) ou dits "absolus" assurant une efficacité par exemple pouvant aller jusqu'à 99,999% DOP pour des particules de 0,3 microns et 99,98% Uranine pour des particules de 0,12 microns.

Le faisceau laser 1 peut être directement projeté depuis une source laser embarquée dans le dispositif, mais également peut être amené depuis une source laser 19 extérieure et éloignée du dispositif, tel qu'à l'extérieur de la zone contaminée par exemple, par un système de fibre optique 14 et un dispositif optique 13 de mise en forme du faisceau laser, afin d'assurer sa projection voulue sur la zone à traiter 11. Ce dispositif optique 13 peut être composé de système de lentilles ou miroirs plans et sphériques.

La surface du point d'impact sur cette zone 11 peut être d'un diamètre de l'ordre de quelques millimètres et de préférence 1 cm avec une seule source, mais il est possible éventuellement d'obtenir des surfaces plus grandes avec plusieurs sources, par exemple : en effet, le choix d'une surface plus grande permet une rapidité de traitement plus importante et une meilleure forme du panache 7 qui a alors une verticalité plus prononcée que si la surface du point d'impact 11 est petite, ce qui ne permet pas dans le cas d'une surface trop petite une bonne efficacité du système d'aspiration par la bouche 9.

Suivant la figure 3, il est également laissé une entrée d'air 15 autour du dispositif optique 13 de mise en forme du faisceau, afin d'éviter toute remontée et dépôt de particules contaminées à l'intérieur du support et du réceptacle de ce dispositif optique.

Un deuxième système optique 18, éventuellement également situé à l'extérieur de l'endroit où l'on veut effectuer ledit nettoyage, permet de mesurer l'intensité de fréquences d'émission spécifique des

composants déterminés contenus dans les particules arrachées, tel que défini précédemment : lequel système optique comporte tout moyen 21, tel qu'également des micro-objectifs, des micro-lentilles associés à une fibre optique 21, qui peut être disposée à l'intérieur ou à l'extérieur sous l'enceinte 10 de la tête d'aspiration ou même dans l'épaisseur de la paroi de celle-ci pour déboucher dans la couronne de la bouche d'aspiration 9 ; ce moyen optique permet de capter lesdites émissions dans ledit panache 7 au voisinage et/ou au niveau de ladite bouche d'aspiration 9. La zone de capture d'émission est située à une distance de l'ordre de 2 à 10 millimètres par rapport à la surface à traiter, telle que les lignes d'émission des contaminants et de ses dérivés peuvent être clairement détectées. Le micro-objectif du moyen 21 se trouve suffisamment éloigné du panache ou de la plume 7, et est protégé contre le dépôt de particules du panache par les mêmes flux du gaz d'aspiration. Ce système optique 18 peut être de tout type connu, tel que par exemple, un spectromètre optique, un filtre spectral optique, un filtre interférentiel, assemblé et associé à un photodétecteur, tel que par exemple photorésistance, photodiode, photomultiplicateur, caméra CCD, électronique de détection et analyse.

Afin d'améliorer encore l'efficacité dudit dispositif d'aspiration, le dispositif selon l'invention peut comporter également au moins un orifice 20 d'injection d'un gaz réactif 17, tel que de l'oxygène par exemple, situé à la périphérie extérieure de la bouche d'aspiration 9 et dirigé dans la direction de celle-ci vers le point d'impact sur la zone traitée 11 du faisceau laser 1 ; en effet, d'une part, cet afflux de gaz supplémentaire permet d'accélérer l'effet d'aspiration, mais également grâce à la présence du gaz réactif, d'augmenter la vitesse de réaction en phase gazeuse des métaux des contaminants avec ce gaz, ce qui a pour effet d'augmenter la taille des molécules qui ont ainsi une plus grande probabilité d'être bien aspirées ; en effet, en cas de choc entre des petites et des grandes molécules, les petites risqueraient d'être ré-éjectées vers l'extérieur du dispositif d'aspiration et de se redéposer sur la surface, alors que si elles sont toutes de dimensions suffisantes, grâce à cet effet de réaction en phase gazeuse, elles ont plus de probabilité d'être entraînées dans le même sens à l'intérieur de la bouche d'aspiration 9. De plus, l'augmentation de la taille des molécules des composants et des dérivés de ceux-ci permet d'améliorer l'efficacité de leur filtrage : ceci nécessite d'autant plus, comme indiqué précédemment, de mesurer au moins deux fréquences d'émission dans le panache et dans la bouche d'aspiration, dont l'une est bien sûr celle des composants de contaminants que l'on veut éliminer, mais également l'autre ou les autres, celles d'au moins un des dérivés de cesdits contaminants, tels que ceux créés par lesdits gaz réactifs.

Pour interpréter la mesure de cesdites intensités,

on peut en fait faire la somme de ces deux mesures au minimum, en les intégrant par rapport au temps, pour définir le seuil en-dessous duquel on peut considérer que la décontamination est atteinte.

Enfin, dans certains types de dispositifs, il peut être rajouté à une certaine distance de l'axe du faisceau laser 1 une jupe extérieure de confinement, éloignée de la bouche d'aspiration 9 pour empêcher éventuellement des particules qui n'auraient pas été aspirées, de partir dans l'ambiance et surtout de pouvoir accéder dans des zones difficiles telles que des angles, ou encore de pouvoir en incorporant des palpeurs dans cette jupe qui peut être de préférence constituée par des rangées de poils, contrôler la distance de l'ensemble du dispositif de nettoyage par rapport à la surface 3 du matériau 2 à nettoyer.

### Revendications

1. Procédé de décontamination de surface (3) d'un matériau (2), dont on veut enlever toutes particules ou organismes comprenant des composants de contaminants déterminés et de tout dérivé de ceux-ci et pouvant être fixées ou déposées sur ladite surface (3), et utilisant au moins un faisceau laser (1) pulsé dans la gamme de longueur d'ondes de l'ultraviolet et projeté sur ladite surface (3), et un dispositif d'aspiration (10) de gaz disposé à proximité de la zone (11) traitée par l'extrémité dudit faisceau laser (1), tel que :
  - on déplace ledit faisceau (1) relativement par rapport à ladite surface (3), suivant un tracé déterminé pour traiter l'ensemble de celle-ci ;
  - on règle la densité d'énergie dudit faisceau (1) entre 0,25 et 8 joules/cm<sup>2</sup> en fonction des caractéristiques dudit matériau à traiter (2), et sa fréquence d'impulsion entre 0,5 et 500 hertz en fonction de la vitesse de déplacement dudit faisceau (1) sur ladite surface (3), celui-ci éjectant, au fur et à mesure et d'une manière connue, des particules arrachées de la zone (11) traitée en formant un panache (7) au-dessus de celle-ci ;
  - on aspire le gaz ambiant par une bouche d'aspiration (9) dirigée vers ledit faisceau laser (1) ;
  - on dispose un système optique (18) permettant de mesurer l'intensité de fréquences d'émission spécifique desdits composants de contaminants déterminés desdites particules à enlever, caractérisé en ce que :
    - on choisit la longueur d'ondes dudit faisceau (1) laser dans la gamme de 190 à 360 nanomètres, avec une durée d'impulsion comprise entre 10 et 250 nanosecondes,

suivant la nature du matériau (2) et l'épaisseur (4) de celui-ci dont on veut éliminer lesdites particules ainsi que l'épaisseur de ladite surface (3) ;

- on aspire ledit gaz ambiant tout autour du panache (7) grâce à une bouche d'aspiration (9) entourant ledit faisceau laser (1) symétriquement suivant son axe XX' et disposée assez proche de la surface (3) ;
  - on dispose ledit système optique (18) comportant tout moyen pour capter lesdites émissions desdits composants de contaminants dans ledit panache (7) au voisinage de ladite bouche d'aspiration (9), et tel que :
    - on mesure au moins deux fréquences d'émission dont l'une est celle des composants décontaminants et l'autre ou les autres, celles d'au moins un dérivé desdits contaminants issu de la réaction du faisceau laser (1) sur la surface (3) du matériau (2) ou préexistant dans cette surface ou dans l'air ambiant.
2. Procédé de décontamination de surface (3) suivant la revendication 1, caractérisé en ce qu'on dispose au moins un orifice (20) d'injection d'un gaz réactif (17) dirigé vers le point d'impact sur la zone traitée (11) par le faisceau laser (1).
  3. Procédé de décontamination de surface selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que on effectue au moins deux tirs d'impulsion laser sur chaque dite zone traitée (11) et on contrôle ladite intensité de fréquence d'émission desdits composants de contaminants déterminés dans les particules enlevées et situées dans le panache (7) du deuxième tir, et si la valeur obtenue de cette intensité est supérieure à un seuil donné, on continue les tirs sur la même zone (11) sans déplacement du laser jusqu'à obtenir au plus ce seuil.
  4. Procédé de décontamination de surface selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'on effectue au moins deux passages par déplacement relatif du faisceau laser (1) sur ladite surface (3), avec des paramètres et des réglages dudit faisceau laser différents, afin de faire subir à ladite surface (3) au moins un deuxième traitement différent de celui du nettoyage et suivant les mêmes phases de procédé que pour celui-ci.
  5. Dispositif de décontamination de surface (3) d'un matériau (2), sur lequel sont fixées ou déposées toutes particules ou organismes comprenant des composants de contaminants déterminés et devant faire l'objet de ladite décontamination,

- comprenant au moins un faisceau laser (1) pulsé dans la gamme de longueur d'ondes de l'ultraviolet et projeté par tout moyen (13, 14) sur ladite surface (3), et un dispositif d'aspiration (10) de gaz disposé au voisinage de la zone (11) traitée par ledit faisceau laser (1), lequel dispositif de décontamination comprend une bouche d'aspiration (9) dirigée vers ledit faisceau laser (1) et tout système permettant le déplacement de l'ensemble du dispositif de décontamination relativement par rapport à ladite surface (3) à nettoyer suivant un tracé déterminé dudit faisceau laser (2) pour traiter l'ensemble de celle-ci, lequel faisceau laser éjecte, au fur et à mesure et d'une manière connue, des particules arrachées à la zone (11) à traiter en formant un panache (7) au-dessus de celle-ci, caractérisé en ce que ledit faisceau laser (1) est dans une gamme de longueur d'ondes comprise entre 190 et 360 nanomètres, et suivant le type de la source laser choisie, d'une durée d'impulsion entre 10 et 250 nanosecondes, la densité d'énergie du faisceau laser étant définie entre 0,25 et 8 Joules/cm<sup>2</sup> suivant la nature et les caractéristiques du matériau (2) et l'épaisseur (4) de la couche contaminée et celle du support (2) et dans laquelle se situent lesdites particules que l'on veut éliminer, ladite bouche d'aspiration (9) entourant ledit faisceau laser (1) symétriquement suivant son axe XX' et disposée assez proche de la surface (3), entoure au moins l'extrémité supérieure dudit panache (7), est située à une distance 1 de la surface (3) au plus égale à la hauteur h de ce panache (7) et a un diamètre d supérieur à celui dudit panache (7) et inférieur à trois fois celui-ci.
6. Dispositif de décontamination de surface (3) selon la revendication 5, caractérisé en ce qu'il comprend un système optique (18) permettant de mesurer l'intensité d'au moins deux fréquences d'émission spécifique desdits contaminants déterminés pouvant être contenus dans les particules à arracher, et d'au moins un dérivé desdits contaminants, lequel système optique comporte tout moyen (21) pour capter lesdites émissions dans ledit panache (7) au voisinage de ladite bouche d'aspiration (9).
7. Dispositif de décontamination selon l'une quelconque des revendications 5 ou 6, caractérisé en ce que la forme extérieure de l'enceinte du dispositif d'aspiration (10) autour de ladite bouche d'aspiration (9) et en regard de la surface (3), est un paraboloïde de révolution autour de l'axe XX' du laser (1).
8. Dispositif de décontamination selon l'une quelconque des revendications 5 à 7, caractérisé en

ce qu'il comporte au moins un orifice (20) d'injection d'un gaz réactif (17) vers le point d'impact sur la zone traitée (11) par le faisceau laser (1).

9. Dispositif de décontamination selon l'une quelconque des revendications 5 à 8, caractérisé en ce que ledit faisceau laser (1) est guidé et dirigé vers ladite surface (3) par au moins une fibre optique (14), depuis une source laser (19) située à toute distance compatible avec ledit dispositif.

FIG. 1

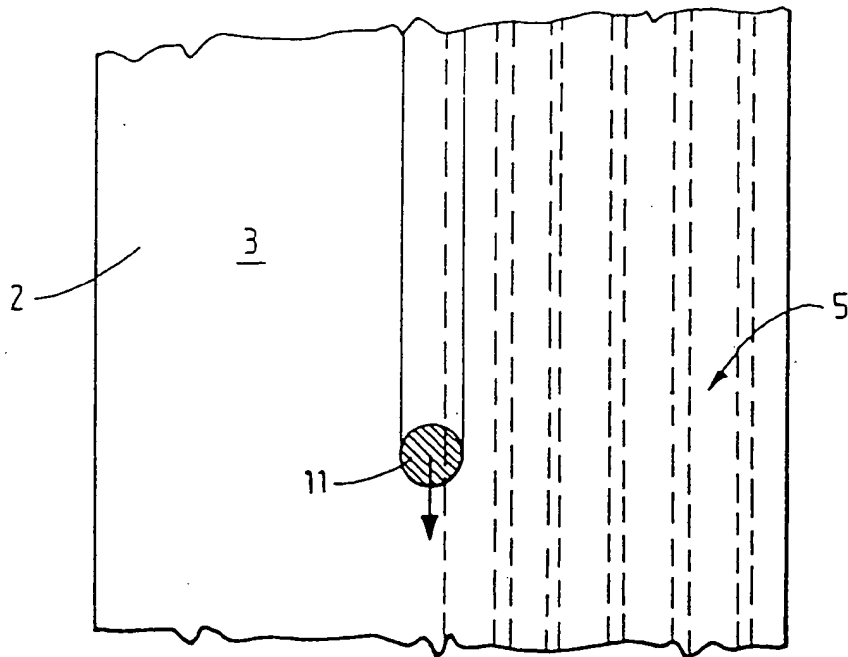
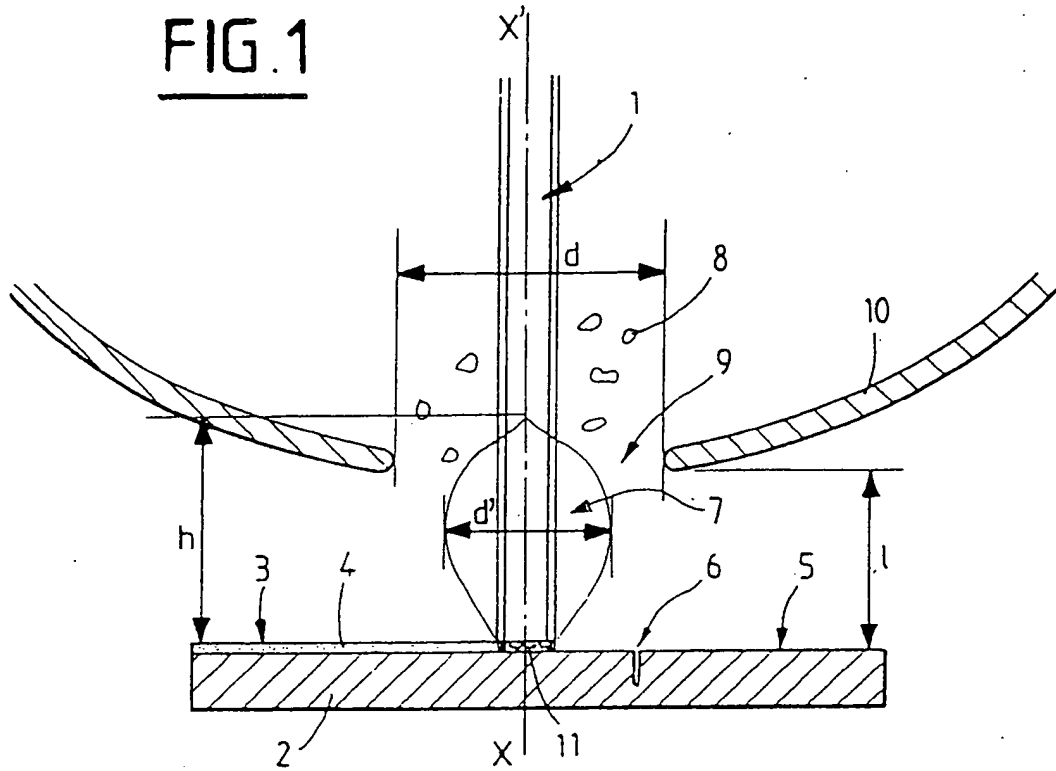


FIG. 2

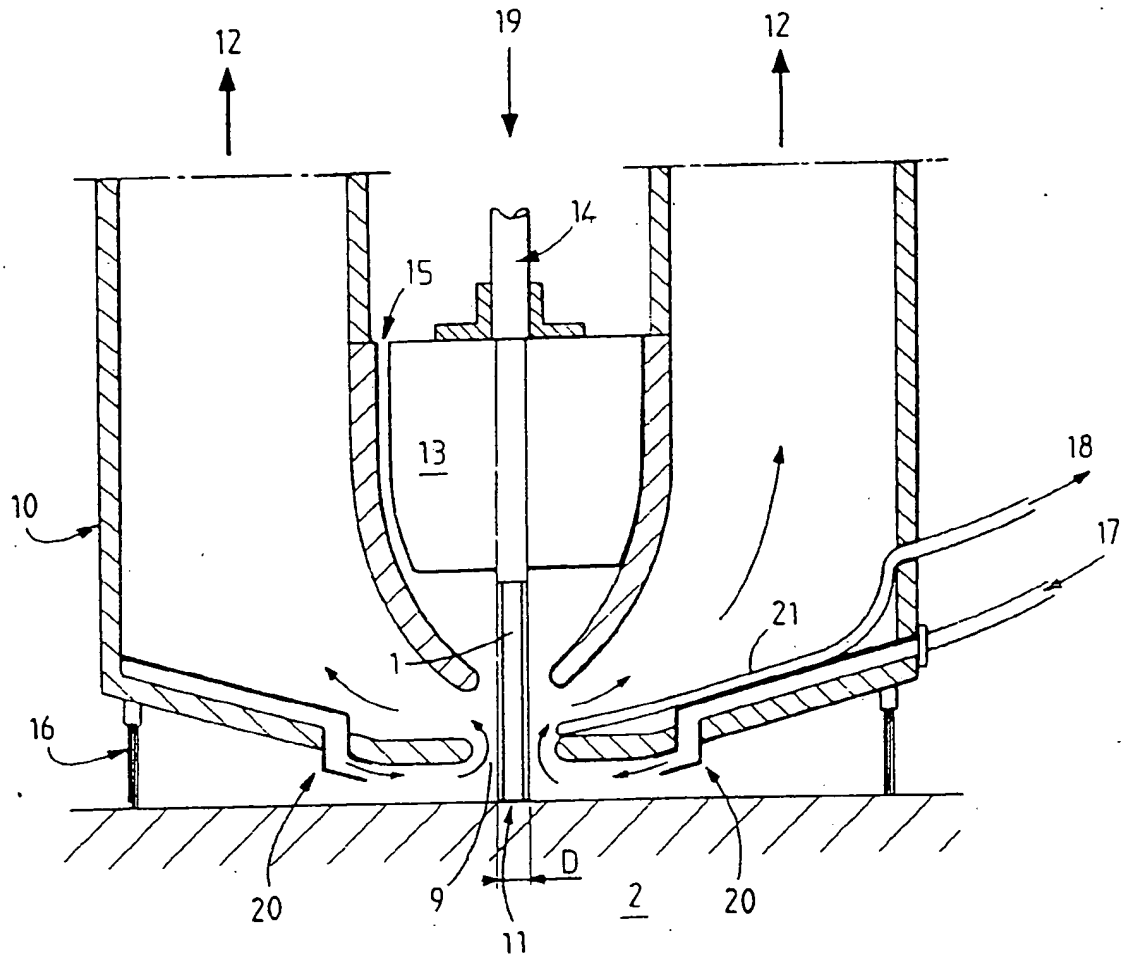


FIG. 3

## RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

PO FORM 1501 01.12 (P04C02)

13



Office européen  
des brevets

# RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande  
EP 94 43 0006

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.6)
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 7, no. 222 (E-201) (1367) 4 Octobre 1983 & JP-A-58 112 327 (FUJITSU KK) 4 Juillet 1983 * abrégé *	1	
A	--- DATABASE WPI Section Ch, Week 8908, Derwent Publications Ltd., London, GB; Class A, Page 35, AN 89-060744 08! & US-A-4 803 021 (AMOCO CORP.) 7 Février 1989 * abrégé *	1,4,5	
A	--- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 8, no. 152 (M-309) 14 Juillet 1984 & JP-A-59 047 086 (MITSUBISHI DENKI KK) 16 Mars 1984 * abrégé *		
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.6)
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lien de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 24 Novembre 1994	Examinateur Lilimpakis, E
<p><b>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</b></p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>			

EPO FORM 1503 01.92 (P04C02)